

TEMA 7

A CÉLULA UNIDADE ESTRUTURAL E FUNCIONAL: O NÚCLEO

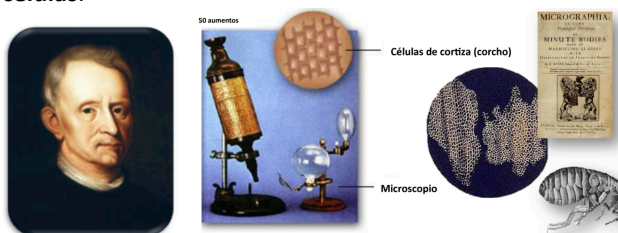
1.- A CÉLULA E A TEORÍA CELULAR

A gran maioría das células non son visibles a simple vista, polo que o seu descubrimento e o seu estudo dependeron do desenvolvemento que tiveron as técnicas de observación.

1.1. Descubrimento da célula

Os primeiros coñecementos sobre a célula remóntanse ao ano 1665 (**S XVII**), grazas as observacións de tecidos vexetais, realizadas por **Robert Hooke**. Este investigador realizou as súas análises cun sinxelo microscopio de cincuenta aumentos construído por el mesmo.

Na súa obra *Micrographia* describiu polo miúdo que o tecido suberizado (cortiza) e outros tecidos vexetais estaban constituídos por unha serie de pequenas celas, semellantes ás dun panal de abellas, que denominou **células**.



Pero estas celiñas de cortiza non eran, realmente, células completas senón só as paredes de celulosa residuais das células vexetais mortas. Nos outros tecidos si que puido observar células vivas, pero non lle deu importancia ao interior das celas que observaba.

Un contemporáneo de Robert Hooke, **Anthony van Leeuwenhoek**, rico comerciante tratante de fíos e naturalista afeccionado, construíu microscopios simples de ata 200 aumentos.



Grazas aos seus microscopios, este naturalista puido realizar interesantes descubrimentos ao observar a auga das pozas e os fluídos internos dos animais. Puido ver por primeira vez protozoos e rotíferos, que denominou animálculos, fermentos, espermatozoides, glóbulos vermello do sangue e, incluso, bacterias.

Durante o **século XVIII** apenas houbo avances no estudo da célula porque non se conseguía perfeccionar as lentes de aumento e, polo tanto non se podía mellorar a calidade das observacións dos primeiros microscopios. Así por exemplo, os tecidos animais, que xeralmente carecen de paredes celulares grosas, non se puideron observar e non se puido descubrir que tamén estaban constituídos por células.

No **século XIX**, grazas ás melloras en óptica e ao perfeccionamento das técnicas de preparación microscópica, púidose estudar as células con máis detalle e observar as estruturas do seu interior.

En 1831, **Robert Brown** descubriu, nas células vexetais, un corpúsculo que denominou **núcleo**.

En 1839, o zoólogo **Theodor Schwann** estableceu o paralelismo entre os tecidos animais e os vexetais ao observar que o tecido cartilaxinoso estaba constituído por células separadas claramente entre si por unha abundante materia extracelular e comprobou ademais que no seu interior tamén había un núcleo. Tamén estudou que a célula presentaba un funcionamento particular, que denominou **metabolismo celular**.

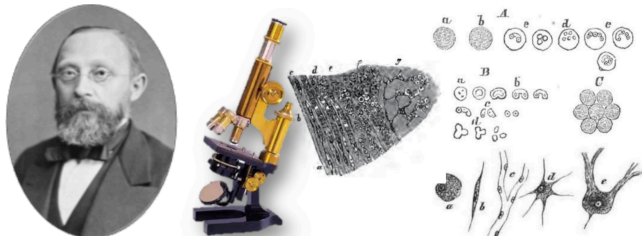
1.2. A teoría celular

A partir dos postulados enunciados polo botánico **Matthias Jakob Schleiden**, en 1838, e o zoólogo **Theodor Schwann**, en 1839, iniciouse o desenvolvemento da chamada **teoría celular**, cos seus dous primeiros principios:

- **A célula é a unidade e morfolóxica de todos os seres vivos.** Todos os seres vivos están constituídos por unha ou máis células.

- **A célula é a unidade fisiolóxica dos organismos.** A célula é capaz de realizar todos os procesos metabólicos necesarios para permanecer con vida.

En 1855, o médico **Rudolf Virchow** contribuíu a mellorar a teoría celular, ao anunciar o terceiro principio, sobre a orixe das células.



- **Toda célula provén, por división, doutra célula** (Omnis cellula ex cellula). As células só poden xurdir a partir doutras xa existentes.

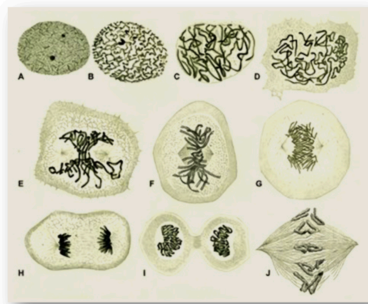
Nos anos posteriores fixéronse importantes descubrimentos que permitiron avanzar significativamente no estudo da célula:

- No ano 1839, o fisiólogo **Johannes Evangelista Purkinje** describiu o **protoplasma**, que é o medio interno da célula vexetal, no que se distinguiron dúas partes: o **citoplasma** que rodea o núcleo e o **carioplasma** ou parte contida no núcleo.

- En 1852, o médico **Robert Remak**, descubriu que no núcleo se producía unha división directa ou **amitose** na que este se dividía por estrangulación.

- Máis tarde, en 1879, o botánico **Eduard Strasburger** describiu nas células vexetais a división indirecta á que denominou **cariocinese**, na que o núcleo experimenta transformacións sucesivas.

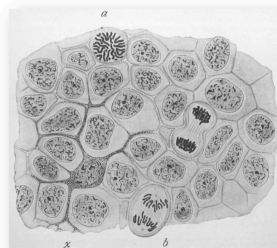
Pola súa parte, o anatomista **Walter Flemming**, en 1880, ao descubrir esa división en células animais denominouna **mitose**.



- As observacións do anatomista **Wilhelm Waldeyer**, en 1890, levárono a identificar durante a mitose uns filamentos nucleares que el denominou **cromosomas**.

- En 1899, o histólogo **Santiago Ramón y Cajal** descubriu que o tecido nervioso tamén estaba constituído por células individuais e non por simples fibras soldadas. Co seu descubrimento, Ramón y Cajal demostrou a individualidade de cada neurona, ampliando a teoría celular ao tecido nervioso e concedéndolle un valor universal. Grazas a estes estudos, recibiu o premio Nobel de Fisioloxía e Medicina en 1906.

- Xa no **Século XX**, en 1902, o xenetista **Walter Sutton** e o embriólogo **Theodor Boveri** propuxeron que a información biolóxica reside nos cromosomas da célula.



O perfeccionamento do **microscopio electrónico**, en 1952, permitiu que este fose utilizado en microbioloxía, o que significou unha auténtica revolución na citoloxía. Grazas a el descubríronse os ribosomas e mais os lisosomas, os peroxisomas e as vesículas sinápticas. Ademais, permitiu establecer a estrutura interna dos orgánulos celulares e tamén a estrutura da membrana plasmática. A partir des tes descubrimentos e dos coñecementos actuais sobre xenética, pódese engadir o seguinte principio á teoría celular:

• A célula é a unidade xenética autónoma dos seres vivos.

A célula contén toda a información sobre a síntese da súa estrutura e o control do seu funcionamento e é capaz de transmitila aos seus descendentes.

Un resumo, a teoría celular enuncia que **a célula é a unidade morfolóxica, fisiolóxica e xenética de todos os seres vivos**.

2.- A MORFOLOXÍA CELULAR

A célula é a estrutura máis simple coñecida con capacidade para realizar as tres funcións vitais básicas, nutrición, relación e reprodución, por si mesma, é dicir, sen necesidade doutros seres vivos.

A célula está constituída por tres elementos básicos: membrana plasmática, citoplasma e material xenético (ADN).

Os virus non son células, posto que non teñen estrutura celular, é dicir, carecen dun citoplasma cun conxunto de encimas capaces de realizar o metabolismo, pero si son capaces de reproducirse, aínda que precisan invadir unha célula viva para conseguilo.

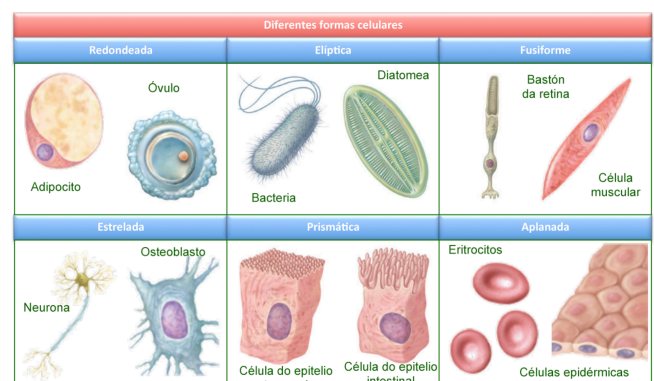
Os virus presentan unha estrutura moi sinxela e non pertencen ao nivel celular senón a un nivel de organización máis sinxelo, ao nivel macromolecular. Dise que son unha forma de vida acelular.

2.1.- Forma das células

As células presentan unha gran variedade e de formas que dependen da estirpe celular á que pertencen, da súa idade e do seu momento funcional. Tamén está condicionada pola súa situación, é dicir, se se encontran libres ou en tecidos.

Algunhas non presentan unha forma fixa, como, por exemplo, as amebas e os leucocitos, que teñen a membrana plasmática facilmente deformable e están constantemente cambiando de forma ao emitir prolongacións citoplasmáticas (pseudópodos) para desprazarse e para fagocitar partículas.

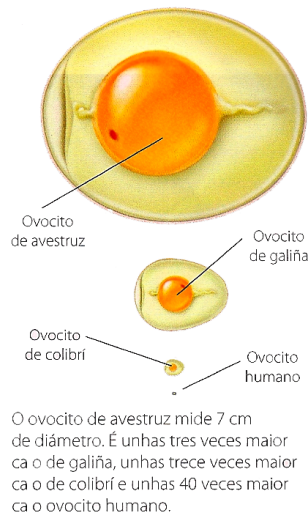
Os osteócitos do tecido óseo e as células provistas de parede de secreción ríxida, como, por exemplo, as bacterias e a maior parte das células vexetais, presentan unha forma moi estable.



2.2. Tamaño das células

O tamaño das células é extremadamente variable. As bacterias adoitan medir entre 1 e 2 μm de lonxitude e a maioría das células humanas, entre 5 e 20 μm ; por exemplo, os eritrocitos miden 7 μm de diámetro e as células do fígado arredor de 20 μm de diámetro.

A célula máis grande coñecida ata hoxe é o ovocito de avestruz. O seu extraordinario tamaño do ovo débese ao gran cúmulo de substancias nutritivas no vitelo (clara), como elementos de reserva. Os espermatozoides destacan pola súa gran lonxitude, por exemplo, os humanos miden 53 μm de lonxitude. Aínda que as células con maior lonxitude son as neuronas que teñen unhas prolongacións axonais que poden alcanzar ata varios metros de lonxitude, coma no caso dos cetáceos.



2.3.- Relación entre tamaño, forma e estado das células

A principal restrición ao tamaño das células é debida á relación entre o seu volume e a súa superficie. O tamaño das células está limitado por dous factores:

- **Capacidade de captación de nutrientes do medio.** A entrada de nutrientes a unha célula realízase a través da súa superficie e desde aí difúndense por todo o volume celular.

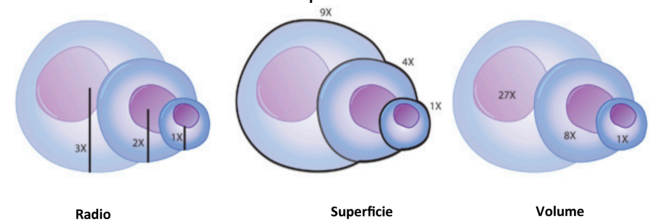
Cando unha célula de forma esférica aumenta de tamaño, o volume aumenta proporcionalmente ao cubo do raio ($V=4\pi r^3/3$), mentres que a superficie só aumenta en función do cadrado do raio ($S=4\pi r^2$), é dicir, proporcionalmente aumenta moito máis o seu volume ca a súa superficie. Isto implica que a relación superficie/volume diminúe, o cal comporta un grande inconveniente para a súa supervivencia, xa que a entrada de nutrientes está en función da súa superficie. Así, nas células grandes a relación superficie/volume é menor ca en células máis pequenas, o que implica que nas células de maior tamaño a superficie de intercambio co medio é proporcionalmente menor. Nas células pequenas a relación superficie/volume é maior, isto implica máis superficie dispoñible para o intercambio e tamén que os materiais percorren distancias máis curtas no interior da célula.

Se unha célula esférica aumenta de tamaño, proporcionalmente aumenta moito máis o seu volume ca a súa superficie. Por iso poucas células maduras son esféricas. A maioría son aplanadas, prismáticas ou

irregulares, co que se mantén así a relación superficie/volume aproximadamente constante. Dentro dunha mesma estirpe celular, a forma esférica ou globular e unha relación superficie/volume alta, xeralmente é característica de células novas. Por exemplo, nos ovocitos, canto máis grandes son, menor é a relación superficie/volume, o que indica que están máis próximos á súa madurez e inicio da división.

• **Capacidade funcional do núcleo.** O aumento de volume das células non vai acompañado dun aumento do volume do núcleo nin da súa dotación xenética. Se unha célula aumenta de volume, lévanse a cabo un maior número de reaccións metabólicas. Se este aumento fose moi elevado, cada vez precisaríanse máis encimas, as cales están codificadas polos xenes que se encontran no núcleo. E o núcleo podería chegar a ser incapaz de controlar a súa produción.

O grao de madurez dunha célula tamén se pode deducir do grao de empaquetamento da súa cromatina. Unha cromatina estendida, que facilita a transcrición do ADN, indica que a célula está en plena actividade metabólica, mentres que unha cromatina fortemente empaquetada, xeralmente é indicio dunha pronta división celular.



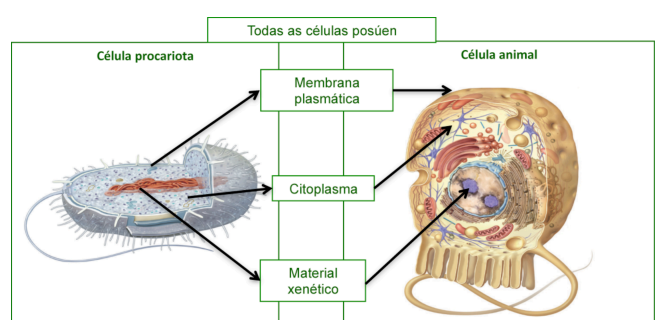
3.- A ESTRUCTURA CELULAR

Todas as células están formadas polos seguintes elementos:

• **Membrana plasmática.** Está constituída basicamente por unha dobre capa lipídica na cal hai, englobadas ou adheridas á súa superficie, certas proteínas. Os lípidos fan que a membrana se comporte como unha barreira illante entre o medio acuoso interno e o medio acuoso externo. As proteínas son as que permiten a entrada e saída das substancias hidrosolubles.

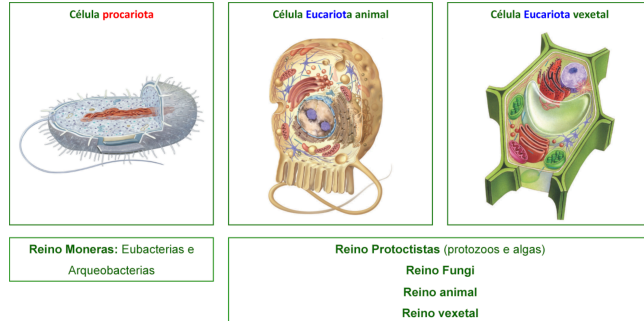
• **Citoplasma.** Abrangue o medio interno líquido ou **citósol** e unha serie de estruturas internas denominadas **orgánulos celulares**.

• **Material xenético.** Formado por unha ou por varias moléculas de ADN. Desde o punto de vista da súa



organización divídense en dous grandes grupos:

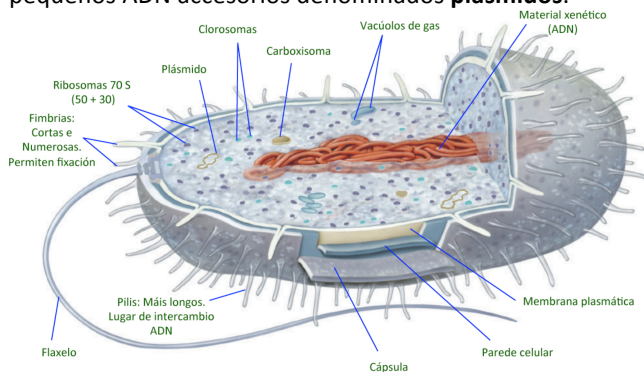
- **Células eucariotas.** Teñen núcleo. As células animais, as vexetais, as dos fungos e as de protistas (algas e protozoos) son eucariotas.
- **Células procariotas.** Teñen nucleóide que non está rodeado de membrana. As eubacterias e as arqueobacterias son células procariotas.



3.1.- Estrutura da célula procariota

As células procariotas caracterízanse por presentar:

- **Pared bacteriana.** É unha estrutura grossa e ríxida.
- **Membrana plasmática.** A diferenza das eucariotas, non contén colesterol. Engloba unha gran cantidade de diferentes tipos de proteínas con función encimática que regulan tanto o metabolismo coma a duplicación do seu ADN.
- **Citoplasma.** Hai unha gran simplicidade interior xa que, exceptuando as cianobacterias, carecen de orgánulos delimitados por membranas, si teñen **ribosomas** e, nalgúns casos, estruturas delimitadas por proteínas como os **clorosomas** que conteñen pigmentos fotosintéticos, os **carboxisomas** con encimas capaces de incorporar dióxido de carbono e os **vacúolos de gas**.
- **Material xenético.** Está máis ou menos condensado nunha rexión denominada **nucleóide**. Pode presentar pequenos ADN accesorios denominados **plásmidos**.



3.2.- Estrutura da célula eucariota

No interior da célula eucariota distínguense catro tipos de estruturas diferentes:

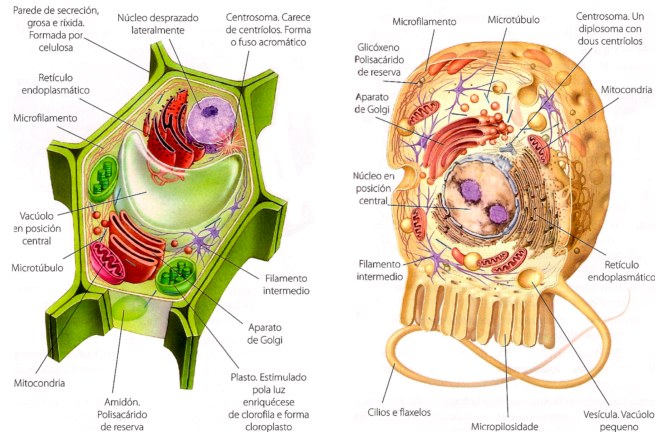
- **Estruturas carentes de membrana.** Son os **ribosomas**, os **centrosomas** e o **citoesqueleto**, que está formado por microtúbulos, filamentos intermedios e microfilamentos.

• **Sistema endomembranoso.** É o conxunto formado polas estruturas membranosas intercomunicadas e as vesículas illadas derivadas delas. As principais son o **retículo endoplasmático**, o **aparato de Golgi**, os **vacúolos** e os **lisosomas**.

• **Orgánulos transdutores de enerxía.** Son as mitocondrias e os coroplastos. Estes orgánulos están envoltos por unha dobre membrana.

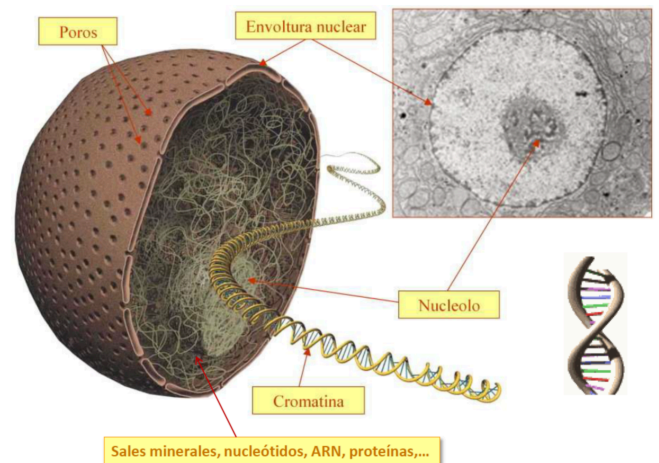
• **Núcleo.** Consta de nucleoplasma e dunha dobre cuberta membranosa, chamada **envoltura nuclear**, que presenta abundantes **poros**. Disperso no nucleoplasma encóntrase o material xenético en forma de **cromatina** e, no medio dela, un, dous ou tres corpúsculos sen membrana, os **nucléolos**. Algunhas células eucariotas poden ter, ademais, unha membrana de secreción no exterior da membrana plasmática. A célula animal non adoita presentala, pero se a posúe está constituída por mucopolisacáridos e chámase **matriz extracelular**.

Nas células eucariotas pódense distinguir dous modelos diferentes: a célula animal e a célula vexetal.



4.- O NÚCLEO CELULAR

O núcleo celular é unha estrutura propia das células eucariotas que presenta unhas características particulares. Contén no seu interior a información xenética en forma de ADN e é onde se realiza a replicación do ADN e a síntese dos ARN.



4.1.- Ciclo celular e núcleo

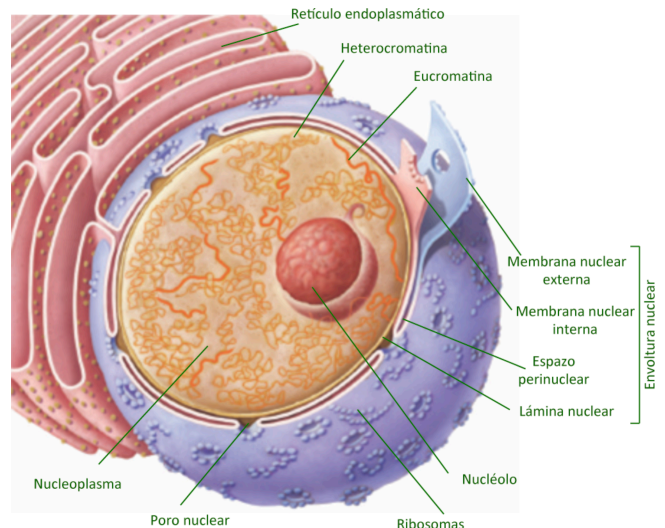
O núcleo varía segundo o estado en que se encontra a célula ao longo do ciclo celular. Distínguense dous momentos:

- **Interfase ou fase de non división.** Fase inicial de longa duración na que se pode observar o núcleo celular, é o denominado **núcleo interfásico**. Presenta a súa envoltura intacta e as fibras de cromatina des enroladas, formando masas máis ou menos diferenciadas. Durante esta fase, a célula non se encontra en división e sintetiza moitas proteínas encimáticas. Ao final deste período prodúcese a duplicación ou replicación do ADN, necesaria para que tras a división cada célula filla poida recibir a mesma cantidade de ADN que tiña a célula nai.
- **Fase de división.** É unha fase de curta duración pero que presenta importantes cambios. As fibras de cromatina condénsanse sobre si mesmas e dan lugar aos cromosomas. Desaparece a envoltura nuclear e os **cromosomas** quedan inmersos no citoplasma. Comprende a división do núcleo ou mitose e a división do citoplasma ou **citocinese**.

4.2.- Características xerais do núcleo interfásico

A estrutura do núcleo depende do momento do ciclo celular en que se encontre. As principais características do núcleo interfásico son:

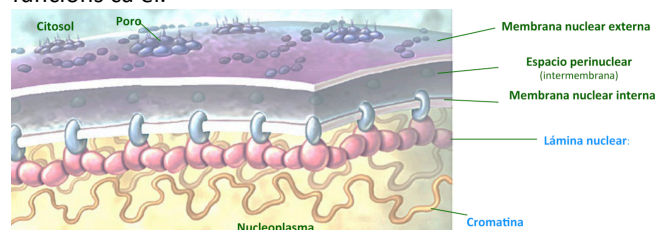
- **Elementos.** Presenta unha dobre membrana, que forma a **envoltura nuclear**. No medio interno nuclear, nucleoplasma, encóntranse a **cromatina**, fibras de ADN máis ou menos condensadas con histonas, e un ou máis **nucléolos**, que son corpúsculos moi ricos en ARN.
- **Número.** As células eucariotas xeralmente son **uninucleadas**, pero pode haber células **plurinucleadas** que, dependendo de como se formen, se denominan:
 - **Sincitio.** Proven de varias células uninucleadas, nas que desaparecen as membranas plasmáticas que as separan, como sucede nas células musculares.
 - **Plasmodio.** Prodúcese por varias divisións nucleares sen división do citoplasma. Por exemplo, o protozoo *Opalina ranarum* presenta decenas de núcleos.
- **Forma.** Nas células vexetais o núcleo interfásico adoita ser discoidal e, xeralmente, encóntrase en posición lateral. Nas células animais o núcleo interfásico adoita ser esférico e encóntrase en posición central. O núcleo tamén pode presentar outras formas, por exemplo, en ferradura, arrosariado, polilobulado ou con prolongacións.
- **Tamaño.** O tamaño do núcleo é moi variable. Por termo medio oscila entre os 5 e os 25 μm . Adoita ser de maior tamaño en células moi activas, como nas células dos tecidos secretores ou reprodutores. Para cada tipo de célula hai unha **relación nucleoplasmática** (RNP) entre o volume nuclear e o volume cito plasmático, que se mantén constante. Por debaixo dun determinado valor da RNP indúcese a división celular.



4.3.- Envoltura nuclear

A envoltura nuclear está formada por **unha dobre membrana con poros**, que controla e regula a comunicación entre o citoplasma e o nucleoplasma. A envoltura nuclear está constituída polos seguintes elementos:

- **Membrana externa.** Ten un grosor duns 70 a 90 Å, é similar á membrana plasmática. Na súa cara exterior presenta un gran número de ribosomas acaroados. Esta membrana está en comunicación co retículo endoplasmático rugoso e pode realizar as mesmas funcións ca el.



- **Membrana interna.** Tamén presenta un grosor duns 70 a 90 Å. Ten unhas proteínas de membrana que serven de ancoraxe para as proteínas que constitúen a lámina nuclear. Entre as dúas membranas encóntrase o **espazo perinuclear** ou **intermembranoso** que ten de 200 a 300 Å de grosor.
- **Lámina nuclear ou lámina fibrosa.** É unha capa densa de proteínas fibrilares, situada debaixo da membrana interna e con características semellantes aos filamentos intermedios do citoesqueleto. Estas proteínas fibrilares que se unen á membrana interna, fixan as fibras de cromatina e están relacionadas coa formación dos poros.
- **Poros nucleares.** Son orificios cun diámetro duns 800 Å que se distribúen por toda a envoltura nuclear. Hai unha gran cantidade e o seu número aumenta ao incrementarse a actividade celular. Cada poro está formado por unha serie de proteínas que o rodean, o chamado **complexo do poro nuclear**. Trátase dunha estrutura anular formada, na parte superior, por

oito gránulos ou masas de ribonucleoproteínas e na parte inferior por outras oito masas similares.

A luz da canle está tapada por **oito proteínas cónicas** que deixan unha canle duns 100 Å de diámetro. Esta canle pode estar obturada por unha **proteína central**. Debido a iso, os poros regulan o paso non só de subunidades ribosómicas, senón incluso de proteínas de pequeno tamaño.

4.3.1.- Funcións da envoltura nuclear

A envoltura nuclear realiza as seguintes funcións:

- **Separa o nucleoplasma do citosol.** Isto evita que moitas das encimas sintetizadas no citoplasma poidan intervir dentro do núcleo.
- **Regula o intercambio de substancias a través dos poros.** Por exemplo, a entrada de nucleótidos, de encimas ADN-polimerases e ARN-polimerases, e de histonas e a saída do ARNm e das subunidades ribosómicas.
- **Intervén na constitución dos cromosomas anterior á división celular.** Grazas aos puntos de unión entre a lámina nuclear e as fibras de ADN.
- **Participa na distribución das masas de cromatina no novo núcleo.** Grazas á unión da lámina nuclear cos sáculos do retículo que acabarán conformando a envoltura do novo núcleo.

4.4.- Nucleoplasma

O **nucleoplasma** ou **carioplasma** é o medio interno do núcleo. É unha dispersión coloidal en forma de xel, composta de auga, sales disoltos e proteínas. Presenta unha rede de proteínas fibrilares que constitúen unha estrutura tridimensional que mantén fixos o nucléolo e as fibras de cromatina.

No nucleoplasma prodúcese a síntese e o empacamento dos ácidos nucleicos e de nucleótidos de ARN e de ADN.

4.5.- Nucléolo

O **nucléolo** é un corpúsculo esférico carente de membrana, cun diámetro que oscila entre 1 e 3 µm e que se encontra no interior do núcleo.

Pode haber dous ou tres no interior do núcleo ou, excepcionalmente, centenaes deles como sucede nos ovocitos dos anfibios: Durante a división do núcleo, o nucléolo desaparece e cando os cromosomas se desespiralizan ao constituír un novo núcleo, vólvese formar a partir deles.

O nucléolo está constituído basicamente por ARN e proteínas e sintetiza o ARN nucleolar (ARNn), que se converte nos diferentes ARNr imprescindibles para a formación dos ribosomas. No nucléolo distínguense dúas zonas:

- **Zona fibrilar.** Xeralmente, encóntrase no interior e está constituída por ARN nucleolar (ARNn) asociado a

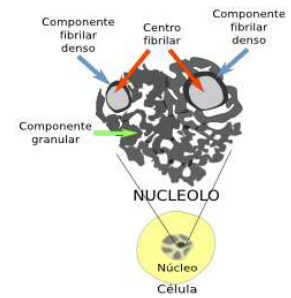
proteínas. Orixínase a partir dos sectores de ADN que conteñen os xenes con información para a síntese do ARN nucleolar, os denominados **organizadores nucleolares**.

Como conteñen varios xenes iguais, un a continuación doutro, e son transcritos continuamente por diferentes ARN-polimerases (ata unhas cen á vez), fórmanse unha serie de ARNn de diferentes lonxitudes, que constitúen as denominadas **estruturas plumosas**.

- **Zona granular.** Adoita estar na periferia do núcleo e está formada por ARN ribosómico (ARNr) asociado a proteínas, que dá lugar ás subunidades ribosómicas en proceso de maduración. Estas subunidades só se unen no momento da síntese de proteínas e saen polos poros nucleares ao citosol.

O tamaño do nucléolo é máis grande nas células que realizan unha elevada síntese proteica e que, polo tanto, requiren un número elevado de ribosomas.

Comprobase que se se destrúe o nucléolo, ao cabo dun certo tempo empezan a escasear os ribosomas no citosol.



4.6.- Cromatina

A **cromatina** está formada por **filamentos de ADN**, en diferentes graos de condensación, e **proteínas**. Estes filamentos forman nobelos que se sitúan acaroados a lámina nuclear ou en contacto co nucléolo. Os nobelos, observados polo microscopio electrónico, preséntanse como masas amorfas, xa que a súa elevada compactación non permite observar a súa estrutura interna. A cromatina fórmase a partir dos cromosomas que se descondensan cando finaliza a división do núcleo. Utilizando colorantes básicos, pódese distinguir:

- **Heterocromatina.** Non se descondensa completamente durante a interfase. Diferéncianse dous tipos:
 - **Heterocromatina constitutiva.** Mantense condensada en todas as células do organismo.
 - **Heterocromatina facultativa.** Está condensada nalgúns células pero non noutras do mesmo organismo.
- **Eucromatina.** Descondénsase completamente durante a interfase.

4.6.1.- Estrutura da cromatina

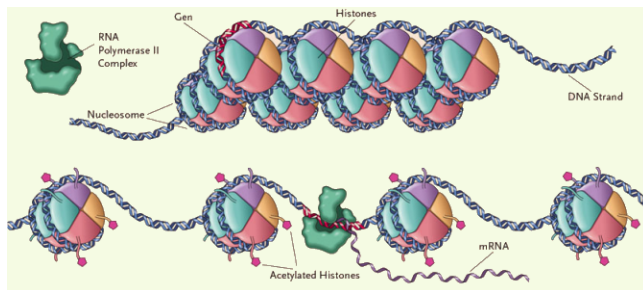
A cromatina está constituída, basicamente, por unha sucesión de **nucleosomas**, que forman a **fibra de cromatina de 100 Å** de grosor ou **filamento nucleosómico**. Esta fibra logra a súa máxima extensión na interfase do ciclo celular e a súa máxima condensación no cromosoma. Esta fibra pode presentarse enrolada sobre si mesma, formando a fibra de cromatina de 300 Å de grosor e incluso, nunha pequena proporción, pode presentar graos

superiores de empaquetamento. Isto depende do tipo de célula e do estado en que se encontre o núcleo. No núcleo dos espermatozoides, o ADN está asociado a protamias e, polo tanto, a cromatina encóntrase fortemente empaquetada, nun estado denomina **estrutura cristalina**.

4.6.2.- Función da cromatina

A cromatina realiza dúas funcións:

- **Conter a información xenética** sobre a estrutura e o funcionamento do organismo. Cada molécula de ADN orixina dúas moléculas iguais, que quedan unidas por un punto e que se enrolan sobre si mesmas formando as dúas cromátides de cada cromosoma, así duplicase a información biolóxica antes da división celular.
- **Proporcionar a información biolóxica** necesaria para efectuar, pola vía da transcrición, **a síntese dos diferentes ARN**. Nas rexións de eucromatina en que as fibras de ADN están pouco empaquetadas (100 Å de grosor) a ARN polimerase pode realizar a transcrición.



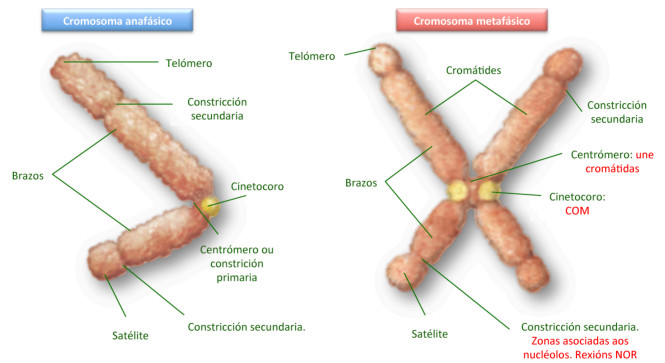
5.- OS CROMOSOMAS

Un **cromosoma** está constituído por unha fibra de cromatina de 300Å (ADN e proteínas) condensada sobre si mesma. Representa a máxima compactación da cromatina. Cada molécula de ADN é ata 50000 veces máis curta ca na súa forma estendida. Presenta forma de bastonciño e téguese con colorantes básicos.

Cada cromosoma consta dos seguintes elementos:

- **Centrómero ou constricción primaria**. Estreitamento da cromátide, que separa dous brazos.
- **Brazos cromosómicos**. Cada unha das dúas partes que quedan unidas polo centrómero. A porción distal deles recibe o nome de telómero.
- **Constricción secundaria**. Estreitamento que se sitúa preto do telómero. Pode dar lugar a outro segmento que se chama satélite.
- **Cinetocoro**. Estrutura proteica de forma discoidal situada no centrómero que actúa como centro organizador de microtúbulos.

Os cromosomas fórmanse no núcleo pouco antes de iniciarse a súa división (cariocinese) e quedan inmersos no citoplasma cando se rompe a envoltura nuclear. O número de cromosomas é constante en todas as células somáticas dos individuos dunha mesma especie, pero pode variar



entre as distintas especies. Nas células somáticas humanas hai 46 cromosomas.

5.1.- Forma dos cromosomas

Tras a duplicación do ADN na interfase, fórmanse dúas fibras de ADN idénticas, fortemente repregadas sobre si mesmas, denominadas cromátides, que quedan unidas polo **centrómero**.

Distínguense dous tipos de cromosomas segundo a fase da división:

- **Cromosoma metafásico**. Ten dúas cromátides unidas. Encóntrase neste estado durante a profase e a metafase.
- **Cromosoma anafásico**. Está formado por unha soa cromátide. Prové dun cromosoma metafásico que se escindiú ao comezo da anafase.

Tipos de cromosomas segundo o centrómero	
Metacéntrico	Submetacéntrico
 Brazos iguais	 Brazos lixeiramente desiguais
Acrocéntrico	Telocéntrico
 Brazos desiguais. Centrómero desprazado cara un extremo.	 Cromosoma cun só brazo. Centrómero nun extremo.

Ao tinguir os cromosomas con colorantes básicos, como fucsina, aparecen zonas moi tinguidas, **rexión heterocromáticas**, e outras debilmente tinguidas, rexións **eucromáticas**. Isto depende dos diferentes graos de condensación do ADN. Nos cromosomas humanos a heterocromatina encóntrase localizada xunto ao, centrómero e en bandas ao longo de todo o cromosoma. Noutros mamíferos tamén se encontra nos telómeros. Os cromosomas tamén se poden tinguir mediante as técnicas xeradoras de **bandas cromosómicas**, que son diferentes métodos de tinguidura que dan lugar a unha serie de bandas de diferente grosor. Estas técnicas permiten detectar, en moitas especies, alteracións na estrutura interna dos cromosomas.

5.2.- Función dos cromosomas

Os cromosomas transfiren a información xenética contida no ADN da célula nai ás células fillas, mediante unha duplicación previa.

O ADN dos cromosomas encóntrase inactivo, posto que está tan fortemente empaquetado que non pode transcribirse. Nalgún caso pode haber transcrición, como nos **cromosomas plumulados** que aparecen durante a ovoxénese dos anfibios.

Neles, as fibras de ADN están moi laxas e poden observarse as típicas formas de "pluma" ou de «fronde» do ADN xunto aos ARN transcritos ..

5.3.- Diploidía e cromosomas sexuais

As **células somáticas** de animais e vexetais son células **diploides ou $2n$** , onde **n** é número de tipos diferentes de cromosomas. Estas células presentan dous xogos de cada tipo de cromosoma, un herdado dun proxenitor e outro herdado do outro.

Os distintos tipos de cromosomas pódense distinguir entre si pola súa lonxitude, pola posición do centrómero e pola posición das bandas.

Os cromosomas que forman parellas de **homólogos** son aqueles que teñen información xenética (igual ou diferente) para os mesmos caracteres.

As **células reprodutoras sexuais**, como os **gametos** (óvulos e espermatozoides) e mais as meiósporas de fungos, carizos e fentos son **células haploides** ou **células n** , é dicir, células cun só xogo (ou exemplar) de cada tipo de cromosomas.

O conxunto de todos os cromosomas metafásicos dunha célula denomínase **cariotipo**. Dentro dos cromosomas distínguense dous tipos:

- **Autosomas.** Corresponden aos que non determinan o sexo.
- **Cromosomas sexuais ou heterocromosomas.** Determinan o sexo e represéntanse coas letras X e y. Dos 46 cromosomas que ten unha célula somática humana, 44 son **autosomas** e dous **heterocromosomas**. As mulleres teñen dous cromosomas X e os homes un cromosoma X e un Y. En xeral, o cromosoma y é moi pequeno e existen moitas especies que non o teñen, polo cal un dos sexos posúe dous cromosomas X e outro só un.

Durante a interfase, os cromosomas sexuais permanecen



condensados, total ou parcialmente, en forma de **heterocromatina**, polo que tamén se chaman **heterocromosomas**. Nas femias dos mamíferos prodúcese un caso de heterocromatina constitutiva, no que un dos dous cromosomas X se condensa totalmente.

Nas mulleres, un dos cromosomas X forma unha estrutura compacta na periferia do núcleo durante a interfase denominada **corpúsculo de Barr**. Este feito permite coñecer o sexo dun individuo coa simple observación ao microscopio dunha das súas células.

6.- OS MICROSCOPIOS

Os microscopios son instrumentos que nos permiten observar imaxes aumentadas de obxectos moi pequenos, como as células. Basicamente existen dous tipos de microscopio: o microscopio óptico e o electrónico.

6.1.- Microscopio óptico

O microscopio óptico está constituído por dúas lentes de aumento denominadas **ocular** e **obxectivo**, que utiliza os **fotóns da luz visible** para realizar observacións. Os raios luminosos, que proceden dunha fonte de luz, inciden sobre a preparación e atrávesana ata chegar á lente frontal do obxectivo do microscopio.

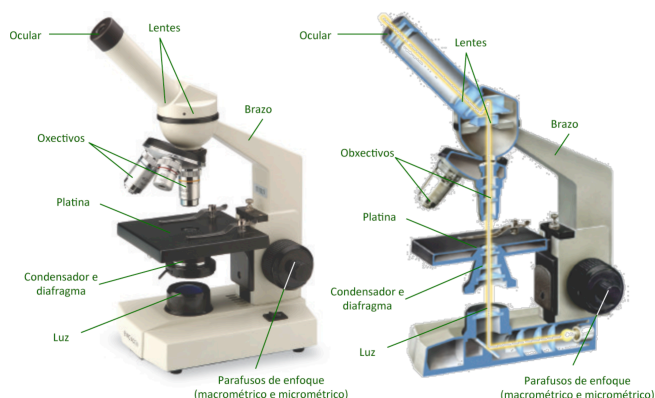
O obxectivo recolle os raios luminosos, que sufriron múltiples refraccións, e ao proxectalos cara ao ocular, aumenta a imaxe da preparación que despois, no ocular, aumenta de novo.

As mostras biolóxicas deben ser duns microns de grosor, para que os raios luminosos poidan atravesalas.

Poden facerse dous tipos de preparacións:

- **Temporais.** Non son duradeiras e trátase, xeralmente, de mostras vivas que adoitan ser incolores e transparentes á luz. Para a observación de detalles adoita ser necesario tinguir as mostras. Hai algúns tipos de microscopios, como os microscopios de **contraste de fases** ou os de **fondo escuro**, que permiten observación sen necesidade de tinguiduras.
- **Permanentes.** Son preparacións duradeiras e para obtelas débese proceder técnicas especiais de elaboración de preparacións microscópicas. Estas técnicas son a **fixación, a inclusión, o corte, a tinguidura e a montaxe.**

- **Fixación.** Consiste en tratar a mostra biolóxica cuns



líquidos denominados fixadores ou conservantes que preservan a morfoloxía das células, a organización interna e a composición química. Os máis utilizados son o alcohol etílico ao 70%, o formaldehído e o glutaraldehído.

- **Inclusión.** As mostras dos tecidos animais inclúense nunha substancia para evitar a súa deformación durante o corte. O medio máis utilizado é a parafina, unha substancia que se verte fundida a uns 60°C, sobre a mostra. A parafina fundida penetra na mostra e despois solidifica cando arrefría. Previamente débese proceder á deshidratación da mostra, porque a parafina é hidrosoluble.
- **Corte.** Se as mostras biolóxicas son tan grosas que non permiten o paso da luz, deben ser cortadas en capas moi finas. Utilízanse micrótomos que son aparellos que efectúan cortes extramamente finos, xeralmente entre 6 e 12 μm de grosor.
- **Tinguidura:** Segundo as estruturas que se queiran destacar, utilízanse uns colorantes ou outros. Os colorantes máis utilizados son: azul de metileno, o carmín, a eosina, a hematoxilina, a orceína, a safranina, o sudán e o verde de metilo.
- **Montaxe:** Consiste en cubrir a mostra tinguida cun medio de montaxe viscoso e moi transparente e, despois, colocar enriba un cubreobxectos. Os medios de montaxe máis utilizados son: o bálsamo de Canadá, a glicerina e a xelatina glicerinada.



6.2.- Microscopio electrónico

O microscopio electrónico ten unhas bases físicas diferentes ás do microscopio óptico. En lugar de luz visible utiliza un feixe de electróns que saen dun filamento (cátodo); cunha diferenza de potencial duns 65000 volts. Dado o baixo poder de penetración dos electróns, débese facer o baleiro no tubo do microscopio.

As lentes non son de vidro, senón bobinas cilíndricas que xeran un campo magnético que condensa o feixe de electróns que pasa polo seu eixe central. Os electróns, cando chocan cos átomos da mostra, dispérsanse. Despois, as bobinas electromagnéticas condensan algúns dos feixes e posteriormente ao proxectalos, amplían o seu campo de dispersión, co que a imaxe se agranda. Finalmente, a imaxe pódese observar nunha pantalla fluorescente. Hai varios tipos de microscopios electrónicos, entre eles destacan:

- **Microscopio electrónico de transmisión (MET).** Os electróns atravesan a mostra e van parar a unha pantalla.

Ten un poder de resolución de 4 Å e permite ata un millón de aumentos, mil veces máis ca o óptico.

A preparación das mostras para o microscopio electrónico de transmisión é diferente da utilizada para o óptico.

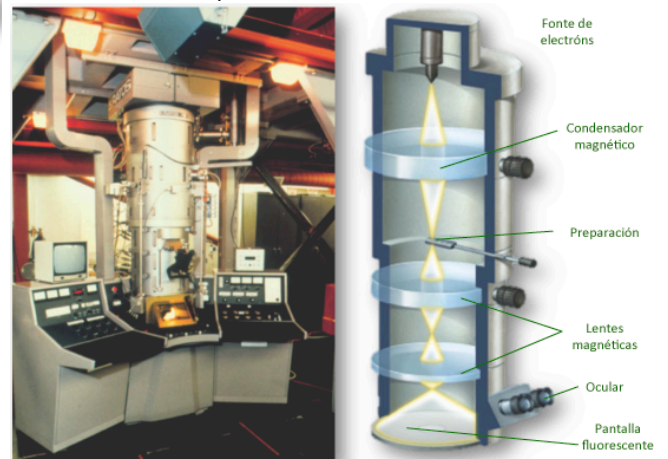
En primeiro lugar, realízase unha prefixación con substancias como glutaralehído e, despois, unha fixación con tetróxido de osmio. A peza fixada débese deshidratar con etanol e óxido de propileno e inclúese nunha resina plástica. O bloque córtase cun ultramicrotomo que utiliza unha coitela de vidro ou diamante. Os cortes son extremadamente finos e obtéñense mostras de 150 a 500 Å de grosor. Estes cortes colócanse sobre unha malla de 3 mm de diámetro e para aumentar o contraste que terá a imaxe expóñense os sales de metais pesados como o uranio e o chumbo.

- **Microscopio electrónico de varrido ou «scanner» (MES).**

Os electróns son reflectidos pola superficie da mostra, polo que se conseguen imaxes dos obxectos en tres dimensións.

Ten un poder de resolución unhas cincuenta veces menor ca o de transmisión e permite uns 200000 aumentos.

As mostras para o microscopio electrónico de varrido sométense en primeiro lugar á técnica de **secado ata o punto crítico**, que está en función dunha temperatura e presión críticas para cada solvente dentro dun recipiente pechado onde a densidade de vapor é igual á densidade do líquido. O solvente da célula substitúese por un fluído de transición, o dióxido de carbono, evitando que as células se sometan a ningunha tensión superficial que podería deteriorar a súa estrutura tridimensional. Despois realízase un **metalizado**, no que a mostra se recobre cunha primeira capa de carbón e outra segunda dun metal pesado, que adoita ser ouro ou paladio.



Característica	MO	MET	MEB
Portátil	si	non	non
Aumento	x 2.500	x 500.000	x 20.000
Tamaño mínimo observable	120 nm	1 nm	10 nm
Fotografía	B/N e color	B/N	B/N
Observación in vivo	si	non	non